

PERAKITAN DAN APLIKASI REAKTOR PLASMA DIELEKTRIK BARRIER DISCHARGE UNTUK MEREDUKSI EMISI SO_2 DARI HASIL PEMBAKARAN MINYAK INDUSTRI

ASSEMBLY AND APPLICATIONS DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA REACTOR TO REDUCE SO_2 EMISSIONS FROM BURNING OF INDUSTRY OIL

Silvy Djayanti

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Semarang

E mail : silvy_bbtppi@yahoo.com

Diajukan: 27/5./2013, Direvisi: 6/9/2013, Disetujui: 6/12/2013

ABSTRACT

A study concerning the application of dielectric barrier discharge plasma technology to reduce emissions in the flue gas concentrations fired boiler Marine Fuel Oil. The purpose of this study to obtain the optimum point decrease in SO_2 emissions in real industrial conditions. Reactors are divided into 8 sections, each section is arranged in each channel on the panel. Medium plasma reactor consists of electrodes coated with aluminum to form sleeve-mounted glass casings mounted horizontally. Aluminum sleeve attached to the inside of the insulator sleeve connected to a high voltage electric current. Plasma generated by electrical loads using a 480 Watt DC current. The resulting voltage to reduce gas emissions 1000-60000 Volt. This reactor can work on emission gas flow rate of $25,000 \text{ m}^3/\text{h}$ with 40-50% SO_2 reduction efficiency. With the concentration of SO_2 emissions reached 1040.53 mg/m^3 . SO_2 reduction efficiency obtained was 47% using the dielectric barrier discharge plasma reactor corresponding debit in the flue gas exhaust. The high voltage generator Dielektri Barrier Discharge plasma can be applied to reduce SO_2 emissions from the steam plant emissions of oil-based industry.

Key words: Dielectric Barrier Discharge Plasma, reduction of SO_2 , Marine Fuel Oil, Flue gas.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang penerapan teknologi plasma dielektrik barrier discharge untuk menurunkan konsentrasi gas emisi di cerobong boiler yang berbahan bakar Marine Fuel Oil. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan titik optimum penurunan emisi SO_2 pada kondisi riil industri.

Reaktor –reaktor tersebut dibagi atas 8 bagian yang masing – masing bagian di atur oleh masing –masing chanel pada panel. Reaktor plasma terdiri atas media elektroda dengan bahan aluminium yang dilapisi kaca dipasang membentuk selongsong- selongsong yang dipasang secara horizontal. Selongsong aluminium yang terpasang pada bagian dalam selongsong isolator dihubungkan dengan arus listrik tegangan tinggi. Plasma dibangkitkan dengan beban listrik 480 Watt menggunakan arus DC. Tegangan yang dihasilkan untuk mereduksi gas emisi 1000 – 60.000 Volt. Reaktor ini dapat bekerja pada laju alir gas emisi $25.000 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan efisiensi reduksi SO_2 40-50%. Dengan konsentrasi emisi SO_2 mencapai $1040,53 \text{ mg/m}^3$. Efisiensi reduksi SO_2 yang didapat adalah 47% menggunakan reaktor plasma dielectric barrier discharge sesuai debit gas pada cerobong gas buang.

Pembangkit Tegangan tinggi plasma Dielektri Barrier Discharge dapat diaplikasikan untuk mereduksi emisi gas SO_2 yang berasal dari emisi pembangkit uap berbasis minyak industry.

Kata Kunci : Plasma Dielectric Barrier Discharge, reduksi SO_2 , Marine Fuel Oil, Cerobong

PENDAHULUAN

Polusi yang diakibatkan dari kegiatan industri memberikan kontribusi gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) dan debu. Pemakaian minyak industri (MFO) sebagai bahan bakar pembangkit uap memiliki sisi baik dan buruk. Keuntungan dari pemakaian

MFO yaitu partikulat yang dihasilkan lebih kecil daripada batubara, perawatan alat pembangkit lebih mudah, nilai kalori bahan bakar lebih tinggi sehingga menghasilkan panas dan uap lebih banyak. Adapun kerugian pemakaian MFO antara lain bahan bakarnya mahal dan emisi SO_2 tinggi karena kandungan sulfur dari bahan baku minyak mentahnya sekitar 2,0- 3,5% berat. (Data kandungan sulfur Pertamina, 2009-2011)

Sebagian besar industri yang menggunakan pembangkit uap berbasis MFO dan minyak industri tidak memiliki alat pengendali seperti halnya pembangkit uap berbasis batubara yang sudah diantisipasi dengan alat pengendali seperti *absorber*, *scrubber*, dan *cyclone* karena minyak industri dianggap sudah ramah lingkungan karena emisi partikulatnya rendah dibanding batubara. Dengan adanya masalah polusi tersebut diatas, sebuah teknologi plasma akan di terapkan untuk menghilangkan emisi SO_2 dari emisi berbasis minyak industri (MFO).

Plasma ini sangat mudah dibuat, caranya dengan pemanfaatan tegangan listrik. Udara sebagai isolator yang mana adalah materi yang tidak bisa menghantarkan listrik. Namun, apabila pada dua elektroda tadi diberikan tegangan listrik yang cukup tinggi (lebih dari 10 kV), sifat konduktor akan muncul pada udara tersebut, yang bersamaan dengan itu pula arus listrik mulai mengalir (*electrical discharge*).

Mengalirnya arus listrik menunjukkan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron pada udara di antara dua elektroda. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektroda, semakin banyak jumlah ion dan elektron yang terbentuk. Aksi-reaksi yang terjadi antara ion dan elektron dalam jumlah banyak ini menimbulkan kondisi udara di antara dua elektroda netral hal inilah yang disebut plasma. Singkat kata plasma adalah kumpulan dari elektron bebas, ion dan atom bebas.

Merupakan teknologi yang ramah lingkungan, murah dan mudah, dan dapat digunakan berkali-kali. Teknologi ini juga telah diterapkan pada sistem pendingin udara (AC), TV, dan penyaring udara pada ruangan (air purifier).

Plasma sebagai pengendali polusi industri yang telah dilakukan sebelumnya dengan skala prototipe untuk mereduksi gas SO_2 pada pembakaran batubara. Prosen reduksi gas emisi SO_2 sekitar 90-98%. Penelitian ini melanjutkan penelitian sebelumnya, dengan objek penerapan plasma dilakukan pada pembangkit berbahan bakar minyak industri (MFO).

Tujuan penelitian ini mencoba mengaplikasikan teknologi plasma sebagai pengendali gas rumah kaca untuk mencapai industri hijau yang ramah lingkungan.

Tinjauan Pustaka

2.1. Teknologi Plasma

Plasma didefinisikan sebagai gas yang terionisasi, terdiri dari partikel neutron, ion positif, ion negatif dan elektron yang merespon secara kuat medan magnetik. Plasma juga dapat dikatakan sebagai atom yang kehilangan elektron karena beberapa atau semua elektron di orbital atom kulit terluar telah terpisah dari atom atau molekul, menghasilkan sebuah koleksi ion dan elektron yang tidak lagi terikat satu sama lain. Untuk melepaskan elektron dari atom dibutuhkan suatu energi, energi tersebut berasal dari panas, listrik ataupun cahaya. Atom/ partikel-partikel yang telah terionisasi (bermuatan) kemudian membentuk material plasma.

Berdasarkan temperaturnya, plasma dapat dikategorikan menjadi:

1. Plasma termal : $T_{\text{elektron}} \sim T_{\text{gas}}$
Suhu elektron dan gas berada dalam keadaan kesetimbangan (*quasi-equilibrium*) akibat pemanasan Joule (*Joule heating*).
Contoh: plasma matahari
2. Plasma non-termal: $T_{\text{elektron}} > T_{\text{gas}}$
Telektron $\sim 1 \text{ eV}$ ($\sim 10000 \text{ K}$); $T \sim$ suhu ruang.

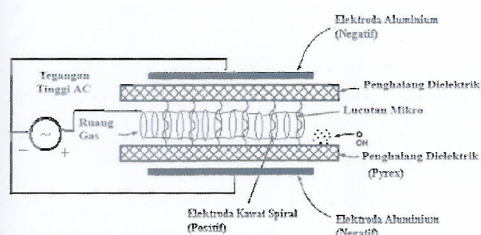
Teknologi plasma memiliki beberapa keunggulan yaitu ramah lingkungan, murah, mudah, dan dapat digunakan berkali-kali. Terdapat beberapa aplikasi plasma yang telah dikenal luas diantaranya teknologi plasma dalam AC, teknologi plasma pada TV, teknologi plasma pada pengolahan sampah, dan teknologi plasma sebagai *cleaning technology*. (Sugiarto, 2005)

Aplikasi teknologi plasma sebagai *cleaning technology* merupakan salah satu aplikasi yang erat kaitannya dengan Teknik Kimia. Sebagai mana kita ketahui, efek negatif dari perkembangan industri adalah munculnya polusi yang menyebabkan kerusakan alam.

Di sinilah teknologi plasma dapat berperan sebagai salah satu teknologi untuk membersihkan limbah yang dihasilkan oleh suatu industri. Aplikasi teknologi plasma dapat menghilangkan polutan dalam limbah bahkan dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai guna.

Plasma Dielectric Barrier Discharge (Plasma Penghalang dielektrik)

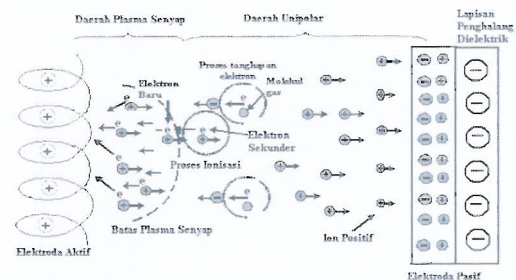
Plasma dapat dibangkitkan dengan teknik lucutan plasma penghalang dielektrik yang sering disebut dengan plasma senyap (*silent plasma*) merupakan sistem tertutup. Dengan menggunakan geometri elektroda berbentuk silinder koaksial atau bidang dengan lapisan penghalang dielektrik (Korzekwa, *et al*, 1998). Sistem reaktor plasma senyap dengan penghalang dielektrik ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Sistem reaktor plasma senyap dengan penghalang dielektrik

Sistem Reaktor Plasma Senyap dengan penghalang dielektrik. Adanya lapisan penghalang dielektrik akan menghalangi lucutan plasma yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena muatan-muatan yang tertinggal pada permukaan dielektrik yang dapat mengurangi medan listriknya. Lucutan ini dapat dibentuk dengan pelipatgandaan elektron yang bergerak dari elektroda aktif yang terakumulasi pada bahan dielektrik (yang melindungi elektroda pasif) pada waktu yang bersamaan. Aliran muatan pada 10-100 ns memungkinkan terjadinya perpindahan muatan selama waktu itu. Muatan elektron dikumpulkan pada permukaan dielektrik sebagai muatan bebas (Kuraica, *et al*, 1996). Apabila gas yang digunakan merupakan gas yang

memiliki keelektronegatifan tinggi (mis: gas oksigen), maka molekul ini akan mudah menangkap elektron sehingga bermuatan negatif dan akan dipercepat menuju anoda. Atom atau partikel elektronegatif dari gas oksigen tidak akan terdepositasi pada katoda, karena mempunyai muatan yang sama (Spryout, *et al*, 1994).



Gambar 2. Ilustrasi lucutan plasma penghalang dielektrik pada daerah unipolar (Chen, 2002).

Penghalang Dielektrik (*Dielectric Barrier*)

Dielektrik merupakan material non konduktor yang semua elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya dan tidak dapat bergerak bebas di dalam material tersebut. Di bawah pemakaian sebuah medan listrik luar, elektronelektron yang terikat dari sebuah atom digeserkan sehingga titik pusat awan elektron terpisah dari titik pusat inti, maka atom itu dikatakan terpolarisasi, sehingga menciptakan sebuah dipol listrik (polarisasi elektronik) (Rao, 2001).

METODE

Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian meliputi observasi di lapangan, implementasi, pembimbingan dan evaluasi. Penelitian ini meliputi pengamatan gas emisi boiler untuk parameter SO_2 , pencatatan dan analisis konsentrasi emisi gas buang SO_2 sebelum dan sesudah dikontakkan ke dalam reaktor plasma, pengamatan timbulnya konsentrasi gas lain sebelum dan sesudah reaktor plasma, pencatatan dan perhitungan laju alir gas, pencatatan dimensi cerobong, evaluasi hasil uji FTIR deposit pada reactor, analisa proses kinetika reaksi pemecahan elektron,

perhitungan optimasi voltase untuk penghilangan gas SO_x , dan perhitungan konsentrasi gas keluar reaktor plasma.

Rancangan Penelitian

Plasma non thermal ini terdiri dari 2 komponen yaitu komponen mekanik dan komponen elektrik. Komponen mekanik terdiri dari tabung berbahan stainless steel yang dilapis kaca tahan panas. Komponen elektrik dirancang untuk membangkitkan tegangan tinggi. Kemampuan alat ini untuk menurunkan gas emisi SO_2 , Prinsip kerja dari alat ini yaitu gas emisi dilewatkan dalam sistem reaktor plasma, gas yang emisi akan terionisasi menjadi radikal bebas maupun atom yang secara fisis telah tereksitasi. Sehingga ketika gas tersebut keluar dari reaktor sudah menjadi sesuatu yang baru dan tak lagi bersifat polutan. Reaktor plasma mampu mengubah gas emisi SO_2 yang dikeluarkan cerobong boiler bahan bakar MFO menjadi senyawa baru yang netral dan tidak berbahaya bagi lingkungan dan manusia. Reaktor ini bekerja pada tegangan diatas 20 KV membutuhkan sumber tenaga pembangkit berupa energi listrik sebesar 480 Watt.

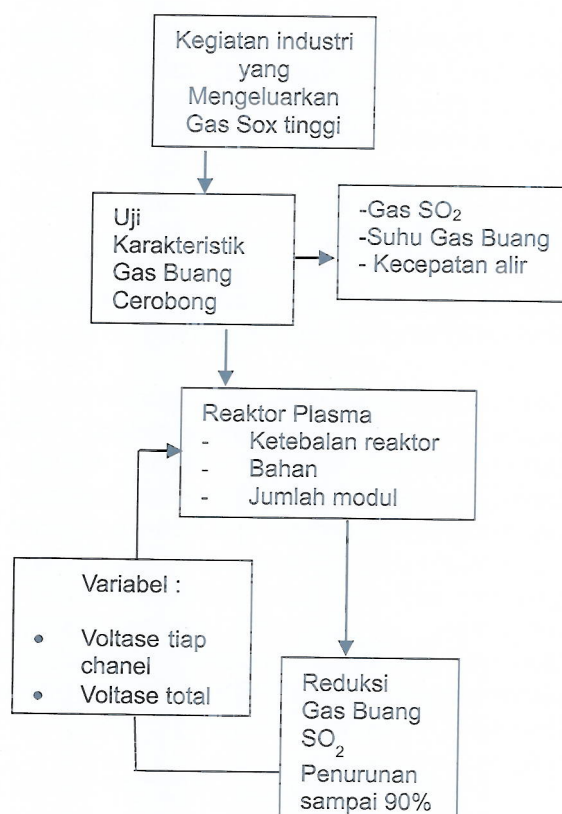
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sebuah industry makanan dan minuman di kabupaten Semarang. Alasan dari pemilihan ini karena pabrik tersebut memiliki pembangkit uap yang menggunakan bahan bakar MFO yang mana konsentrasi SO_2 masih sangat tinggi (berkisar antara $800-1200 \text{ mg/m}^3$) dan industri tersebut membutuhkan solusi untuk penghilangan emisi SO_2 .

Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder disajikan pada Tabel 1.

Berikut Gambar alur pikir penelitian :



Gambar 3. Alur Kerja Penelitian Non Thermal Plasma DBD

Tabel. 1. Jenis Data

Jenis Data	
	Data Primer
	• Dimensi dan spesifikasi reactor plasma • Waktu pengambilan sampel. • Debit gas emisi. • Konsentrasi Gas SO_2 emisi sebelum plasma • Konsentrasi Gas SO_2 keluar reactor plasma • Voltase • Konsentrasi O_2 Sebelum plasma • Konsentrasi O_2 Setelah plasma • Uji kerak/ deposit plasma

Peralatan dan Bahan

1. Peralatan Uji Emisi

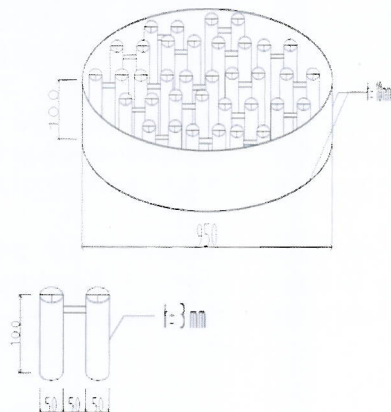
Peralatan penelitian yang digunakan adalah satu set alat sampling emisi yang komponen utamanya adalah pompa vakum, roll kabel, dan tali tambang. Analisis

parameter emisi gas SO_2 , NO_2 , CO , CO_2 , dan O_2 ditentukan dengan gas Analyzer.

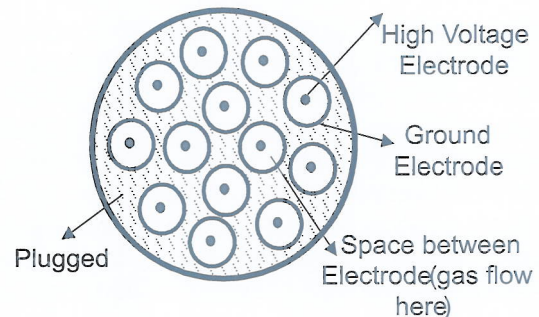
1. Peralatan Reduksi Emisi

Peralatan yang digunakan pada reduksi emisi adalah suatu tabung lucutan plasma penghalang dielektrik dengan panjang 10 cm dan diameter 5 cm, berjumlah 24 buah, dipasang tegak pada plat stainless steel dengan tebal 10 mm yang telah dilubangi sebesar diameter tabung plasma sebagai tempat duduk tabung plasma. Tabung plasma yang telah dipasang, pada bagian dalam dilapisi dengan kaca pirex dengan tujuan supaya hasil reduksi gas yang berupa deposit padatan mudah dibersihkan. Fungsi dari tabung tersebut adalah *ground* untuk membatasi aliran listrik. Kemudian pada bagian tengah tabung dimasukkan suatu batang logam sebagai elektroda tegangan tinggi. Semua rangkaian tersebut dihubungkan dengan kabel tegangan tinggi. Selain dari rangkaian reaktor diatas, komponen elektrik untuk pembangkit tegangan tinggi dihasilkan di sebuah panel yang terdiri dari Transformator 10000V/700 mA (AC) untuk menurunkan tegangan AC, kemudian *Capasitor* 500 μ F 500 V (AC), Panel Voltmeter (AC), Panel Amperemeter (AC), Dioda 10A (AC), *High Voltage Wire* 5 m, Transistor Power (AC), IC Timer (AC), *Capasitor Ceramic* AC), Potensiometer 50 K, dan *Casing* untuk menempatkan rangkaian listrik. Kemudian untuk pengecekan *performance* listrik diperlukan alat *High Voltage Probe* (1000X) yang berfungsi untuk membagi tegangan listrik supaya terbaca pada alat ukur listrik.

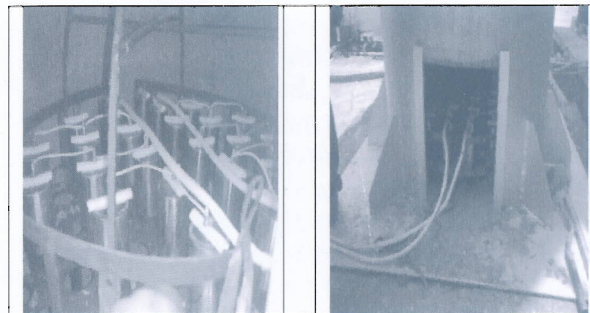
Rancangan/ Disain Riset



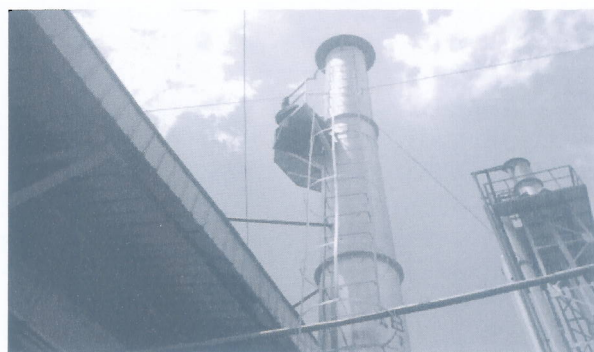
Gambar 4. Reaktor plasma yang di dalamnya terdapat modul tegangan tinggi.



Gambar 5. Disain Reaktor Plasma dan Bagian- Bagiananya



Gambar 6. Pemasangan Reaktor Plasma yang sudah siap dinaikkan pada bagian dalam cerobong



Gambar 7. Boks Panel berisi komponen elektrik plasma dipasang di bawah bourdes

Tahapan Langkah Penelitian

Percobaan dilakukan dengan cara merangkai alat menjadi 2 bagian yaitu komponen mekanik dan komponen listrik.

Komponen mekanik dirancang dengan bahan tahan panas diatas 200 °C yaitu *stainless steel* dan kaca pirex, karena suhu gas buang pada ketinggian dimana reactor digantung adalah sekitar 200 °C. Komponen ini di pasang didalam cerobong dengan cara dimasukkan melalui *manhole*, kemudian ditarik dengan menggunakan rantai besi. Reaktor digantung pada ketinggian 7 m dari *manhole*, tepatnya di bawah sampling *Hole*, diharapkan hal ini dapat mempermudah pengambilan sampel gas emisi yang tereduksi dan dapat dideteksi dengan mudah. Kabel reaktor dihubungkan dengan panel yang dipasang dibawah *bourdes* untuk mencegah kontak dengan air hujan supaya terhindar dari konsleting.

Sebelum melakukan uji karakteristik plasma, gas buang keluaran dari output boiler dianalisis dengan gas analiser untuk mengetahui konsentrasi SO_2 sebelum direaksikan dengan reactor plasma. Dan untuk mengetahui laju alir gas buang perlu dilakukan pengukuran debit udara emisi yang keluar cerobong. Besarnya debit udara yang keluar cerobong mempengaruhi waktu tinggal dalam reactor yang secara langsung mempengaruhi banyaknya gas yang dapat direduksi.

Setelah dilakukan pengukuran debit dan konsentrasi gas awal, selanjutnya dilakukan pengukuran *performance* / kinerja reaktor pada masing-masing *channel*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya *power* (voltase) masing – masing, dan untuk memastikan apakah semua *channel* pada kondisi baik atau mati. Setelah kondisi semua *channel* baik, uji emisi cerobong setelah plasma dapat dilakukan. Masing – masing *channel* dioperasikan pada posisi maksimal, karena kondisi debit gas buang yang mencapai 25000 m³/jam (sangat besar) perlu *power* yang sangat besar.

Variabel berubah dari penelitian ini adalah voltase, dan pada masing – masing *channel* mempunyai voltase maksimal yang berbeda-beda. Dan variable tetap adalah laju alir gas buang cerobong yang keluar secara alami tanpa dibantu blower, Suhu emisi dan jarak antar elektroda.

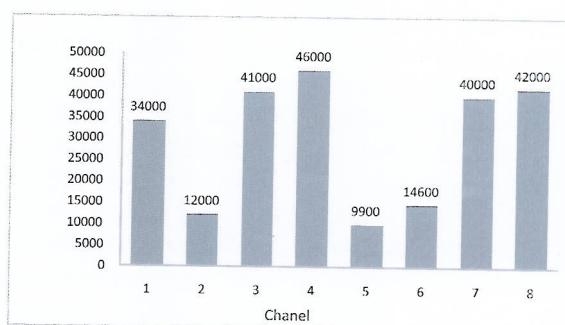
Selanjutnya adalah uji emisi udara

setelah reactor plasma. Uji kemampuan reaktor plasma ini dilakukan selama kurang lebih 1,5 jam yang datanya diambil setiap 5 menit sekali dengan menggunakan gas analyzer dengan parameter SO_2 , NO_2 , CO, dan O_2 . Pengamatan parameter ini hanya sebatas konsentrasi SO_2 dan Konsentrasi O_2 (Oksigen). Pengukuran oksigen ini bertujuan untuk mendeteksi adanya kenaikan oksigen setelah gas emisi SO_2 terionisasi, yang mana hasil ionisasi dari gas tersebut adalah S (sulfur) yang terdeposisi di dalam elektroda dan O_2 lepas di udara bebas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Performa Tegangan pada Tiap Channel

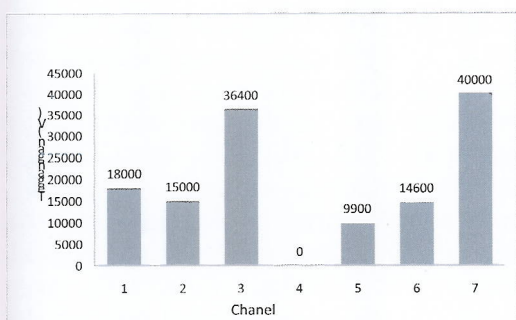
Pada pengambilan sampel dilakukan pengukuran tegangan yang diukur pada masing – masing *channel*. Seperti pada Gambar 6 berikut ini :



Gambar 6. Setting Voltase Optimum pada masing – masing *channel* reactor.

Pada Channel 5 menunjukkan kinerja yang kurang optimal, hal ini ditunjukkan pada voltase yang hanya maksimal 9900 V, seharusnya pada *channel* 5 bisa membangkitkan tegangan sampai diatas 10.000 V. Hal ini disebabkan kinerja masing – masing penghasil tegangan tinggi berbeda – beda.

Selanjutnya dilakukan uji performa masing – masing *channel*, diperoleh hasil seperti pada Gambar 7 dibawah ini :



Gambar 7. Setting Voltase Optimum masing – masing channel

Pada uji setting voltase diperoleh hasil pada channel 4 mengalami kerusakan. Hal tersebut disebabkan oleh beban kelistrikan pada channel 4 sangat besar sehingga salah satu komponen listrik pada channel tersebut rusak. Setelah dilakukan pengecekan, diketahui bahwa komponen yang rusak tersebut adalah resistor, yang fungsinya sebagai penghambat arus listrik. Ketika terjadi arus listrik yang besar, resistor tidak dapat membagi arus listrik tersebut sehingga terjadi kerusakan.

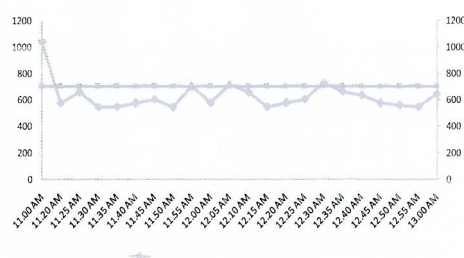
Pada channel yang lain terjadi penurunan kemampuan tegangan maksimal. Hal ini disebabkan oleh reactor didalam cerobong, ada bagian – bagian yang kotor, yang tidak bisa terjangkau oleh udara compressor saat pembersihan, sehingga kerak –kerak yang menempel mengganggu pancaran listrik di dalam reactor.

Pemecahan masalah ini adalah reactor harus sering dibersihkan, mengingat bahan bakar yang digunakan adalah MFO/ residu yang mana komposisi sulfur, carbon dan partikulat sangat tinggi. Komposisi sulfur dari MFO maksimal 3,5 %, Sediment 0,15% dan carbon residu 14%. Hal ini menyebabkan permukaan penghasil tegangan tinggi/ reactor cepat jenuh karena untuk debit yang sangat besar dalam cerobong memaksa reactor untuk bekerja memecah molekul gas menjadi padatan dan gas oksigen. Sementara padatan yang terdeposit pada jangka waktu yang lama akan mengganggu kinerja tegangan tinggi.

Analisis Gas

Pengambilan sampel dilakukan saat boiler dioperasikan pada kapasitas produksi

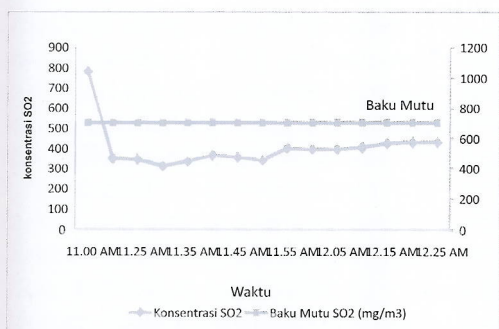
4 ton/jam (kapasitas terpasang 5 Ton/ jam). Pengambilan sampel emisi dilakukan pada kondisi beban mulai turun karena beberapa unit produksi sudah mulai istirahat. Pengukuran dengan analyzer dilakukan selama 120 menit, dengan pencatatan 5 menit sekali untuk mengetahui perubahan gas emisi keluaran reactor plasma. Reactor dioperasikan pada voltase maksimal pada masing – masing channel. Hasil reduksi emisi gas SO_2 tersebut adalah seperti pada Gambar 8. dibawah ini :



Gambar 8. Konsentrasi Emisi SO_2 Output Reactor Plasma

Dari data hasil penelitian tahap 1 dapat dilihat pada grafik Gambar 8. Emisi sebelum terjadi ionisasi dengan reactor plasma konsentrasinya mencapai 365 ppm atau 1040,53 mg/m^3 . Hal ini disebabkan oleh karakteristik dari MFO yang memiliki kadar Sulfur sekitar 2,7-3,5% (Data manifest MFO Pertamina). Penurunan emisi SO_2 setelah melewati reactor plasma hanya mencapai konsentrasi tertinggi pada 190 ppm atau 541,6 mg/m^3 , penurunan 47,9%. Hasil reduksi emisi SO_2 paling rendah pada 255 ppm atau 726,9 mg/m^3 , penurunan 30,1%. Sementara baku mutu emisi SO_2 untuk bahan bakar minyak ditetapkan 700 mg/m^3 . Dengan kondisi diatas, reactor plasma hanya mampu mereduksi sampai 47%. Hal ini disebabkan oleh besarnya debit aliran gas buang cerobong yang mencapai 25.000 m^3/jam , sehingga reactor tidak dapat memecah gas emisi lebih banyak.

Pengambilan sampel tahap 2 hal ini untuk mengetahui kondisi reactor didalam cerobong setelah digunakan terjadi penyusutan kemampuan tegangannya atau tidak. Hasil reduksi emisi SO_2 dapat disajikan pada Gambar 9. berikut ini :

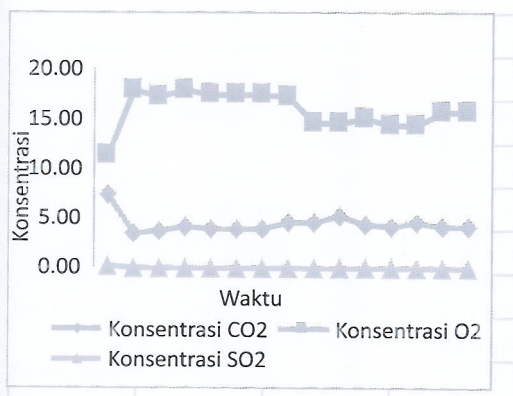


Gambar 9. Konsentrasi Emisi SO₂ Output Reaktor Plasma

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa gas emisi SO₂ sebelum reactor plasma konsentrasinya 275 ppm atau 783,9 mg/m³. Setelah reactor plasma dinyalakan, terjadi penurunan gas emisi SO₂ tertinggi 110 ppm atau 313,6 mg/m³, penurunan 60%. Penurunan emisi terendah pada 152 ppm atau 433,3 mg/m³, penurunan 44,7%.

Pada reduksi emisi diatas terjadi kenaikan prosentase reduksi emisi SO₂. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi awal SO₂ yang tidak terlalu tinggi, hanya 275 ppm dan debit gas buang dibawah 25000 m³/jam, sehingga kemampuan reactor untuk mengionisasi gas emisi lebih baik, dan gas emisi yang tereduksi lebih banyak.

Pada ruang lingkup penelitian ini hanya dilakukan pengamatan dan pengukuran emisi SO₂. Tetapi ada beberapa parameter seperti CO₂ dan O₂ yang cukup menarik perhatian seperti pada Gambar 10 berikut ini:

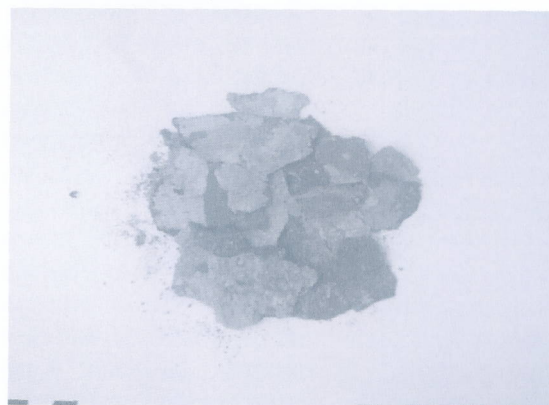


Gambar 10. Grafik penurunan emisi terhadap kenaikan konsentrasi Oksigen(O₂)

Menurut teori Xiao Feng dan Chen Jie Rong (2004), tegangan tinggi plasma non thermal dapat mengionisasi gas- gas emisi menjadi padatan dan oksigen. Berbagai gas emisi seperti SO₂, NO₂, CO₂, dan CO dapat tereduksi sempurna menjadi senyawa – senyawa yang ramah lingkungan, terutama Oksigen (O₂). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10 diatas. Gas CO₂ yang terdeteksi pada analyzer saat pengukuran SO₂ terjadi penurunan konsentrasi terendah menjadi 3,40 % atau penurunan sebesar 53,5%. Selain daripada itu konsentrasi Oksigen (O₂) mengalami kenaikan konsentrasi dari 11,28 % (sebelum plasma) menjadi tertinggi 17,83 % (setelah melalui plasma).

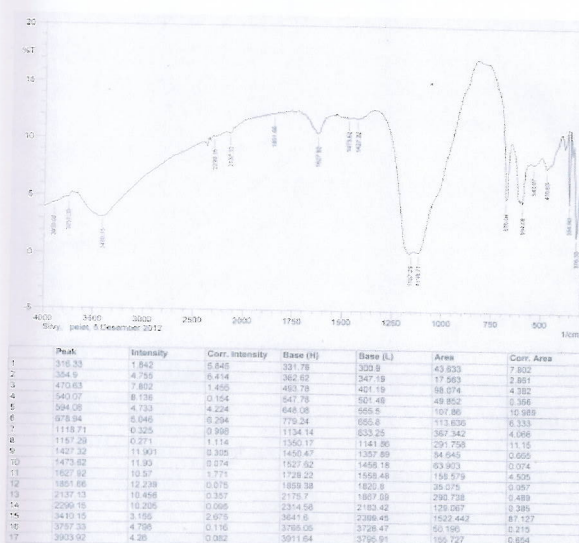
Analisis Ftir (fourier Transform Infra Red Spectrometry)

Dalam suatu proses reduksi emisi SO₂, fase gas yang berisi electron, atom-atom dan molekul yang tereksitasi akan mempunyai energy yang sangat tinggi sehingga berpotensi terhadap pemecahan gas emisi SO₂. Hasil pecahan gas gas emisi tersebut, adalah padatan yang terdiri dari carbon, sulfur, dan ikatan –ikatan dengan unsur lain. Padatan yang terbentuk mengumpul/ terdeposit disekitar reactor plasma, sedangkan hasil pecahan gas emisi selain padatan, terbentuk gas Oksigen, dan gas lain. Padatan yang berhasil dikumpulkan adalah seperti Gambar 11, dibawah ini:



Gambar 11. Kerak hasil pecahan gas emisi oleh plasma

Kerak pada Gambar diatas didapat dari sisa-sisa hasil pecahan gas emisi oleh tegangan tinggi plasma. Cara mendapatkannya dengan cara membersihkan reaktor yang telah dipasang di dalam cerobong dengan cara disemprot dengan udara bertekanan (kompresor). Setelah terkumpul, kerak tersebut diuji dengan FTIR, dan hasil dari analisis tersebut adalah seperti Gambar 12 berikut ini:



Gambar 12. Hasil Uji FTIR (Fourier Transform Infra Red Spectrometry)

Dari Gambar 12 diatas menunjukkan bahwa komponen terbesar dari kerak hasil pecahan gas emisi cerobong adalah sulfur, ditunjukkan pada frekwensi 1118,71-1157,29 cm^{-1} dengan area 367,342-291,758 (Hasil rangkuman analisis FTIR). Hal ini menunjukkan potensi sulfur yang terbentuk sangat tinggi. Sulfur yang terbentuk berikatan dengan berbagai jenis gugus-gugus, seperti O-H, N-H, dan C-H. Tingginya sulfur dipengaruhi oleh komposisi minyak mentah dari 2,5%-3,5%. Kondisi tersebut diperparah dengan komposisi MFO itu sendiri, yang mana bahan bakar ini adalah merupakan fraksi terendah dari proses fraksinasi minyak mentah. Hal ini berpengaruh pula pada komposisi yang selain Sulfurnya tinggi, juga sediment 0,15% dan carbon residu 14%.

Pada Frekwensi 3410,15 cm^{-1} memiliki area sebesar 1522,442, hal ini menunjukkan

adanya potensi gugus amin (ikatan N-H) yang disebabkan oleh gas N_2 yang terkandung dalam udara untuk proses pembakaran. Gas N_2 setelah proses pembakaran, keluar pada cerobong. Komposisi N_2 saat pemakaran dan keluar cerobong adalah sama karena sifat N_2 cenderung inert (tidak bereaksi). Gas ini terbentuk oleh unsur yang memiliki lima electron. Tiga diantaranya digunakan untuk berikatan sehingga membentuk ikatan rangkap tiga. Ikatan rangkap tiga inilah yang membuatnya sulit untuk terputus oleh sebab itu ia tak mudah bereaksi dimana yang namanya reaksi adalah terputusnya suatu ikatan untuk membentuk ikatan baru. Pada cerobong, gas ini masuk pada proses plasma sehingga ikatan rangkap tiga ini dapat dipecah dan sebagian besar berikatan dengan H menjadi gugus amin.

Selanjutnya dari analisis FTIR diatas, pada frekwensi 2000-3410,15 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus carbon. Dan ada beberapa senyawa lain yang keberadaannya sangat kecil, seperti unsur Klorid, bromide dan Amid. Dari hasil pembacaan FTIR diatas, dapat dijelaskan pada table 2 dibawah ini:

Analisis Tekno Ekonomi

Secara tekno ekonomi, perhitungan energy listrik yang digunakan untuk mengoperasikan reactor plasma adalah sebesar 480 watt. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Jumlah pembayaran (Rp)} = \frac{\text{Watt} \times \text{waktu operasi} \times \text{harg a listrik industri per KWH}}{1000}$$

$$\text{Jumlah pembayaran (Rp)} = \frac{(60 \text{ watt} \times 8 \text{ chanel}) \times 24 \text{ jam} \times \text{Rp} .1112}{1000}$$

$\text{Jumlah pembayaran (Rp)} = 12.810,00$ per hari/ boiler. Atau Rp. 192.153,6 per bulan (satu boiler hanya dinyalakan 15 hari selama 1 bulan).

Jika dibandingkan dengan tidak menggunakan plasma, emisi pembakaran MFO ini sangat tinggi (mencapai tertinggi 361 ppm atau 1.029 mg/m^3), tentunya kondisi ini tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan untuk bahan bakar minyak

sebesar 700 mg/m³. Untuk menurunkan emisi sampai dibawah baku mutu, pihak perusahaan harus berupaya untuk lebih sering membersihkan instalasi pembakaran dan bahan bakar, dan hal itu sangat merepotkan pihak industry. Solusi lain supaya emisi dapat ditekan yaitu dengan mencampur bahan bakar MFO dengan solar (MFO 70% dan Solar 30%), hal ini juga sangat tidak mungkin mengingat akan lebih membebani perusahaan dalam biaya operasional bahan bakar. Perhitungan penggunaan bahan bakar adalah seperti pada table 2. dibawah ini :

Tabel 2. Perhitungan Kebutuhan Bahan bakar untuk satu Boiler per Bulan

Bahan Bakar	Kebutuhan/ Bulan (L) tiap Boiler	Harga MFO/ Liter	Kebutuhan MFO (Rp)
MFO	64.000	6500	416.000.000,-
Solar	64.000	9800	627.200.000,-
Mixed MFO 70%-Solar 30%	MFO 70% :	6500	291.200.000+
	Solar 30% :	9800	188.160.000
			479.360.000,-

Pada table 2. perhitungan kebutuhan bahan bakar perusahaan setiap bulan untuk satu boiler dengan menggunakan bahan bakar MFO, harus mengeluarkan biaya Rp. 416.000.000,-. Penggunaan MFO tanpa alat pengendali emisi memungkinkan untuk berpotensi terhadap tingginya emisi terutama parameter SO₂. Hal ini sangat tidak diharapkan oleh industry maupun persyaratan dari kementerian Lingkungan Hidup, mengingat perusahaan ini adalah industry yang sangat peduli dengan lingkungan dan sebagian besar produknya telah dipasarkan di mancanegara.

Beberapa pertimbangan dilakukan untuk menurunkan emisi antara lain mengganti bahan bakarnya dengan solar tetapi hal itu tidak mungkin dilakukan mengingat biaya operasional pembelian solar sangat tinggi. Pertimbangan lain dengan mencampur bahan bakarnya dengan Solar, tetapi juga tidak mungkin karena factor biaya.

Solusi lain yaitu mengoptimalkan kinerja Pilot Project Plasma Non Thermal ini

sebagai solusi. Disamping harga investasi alatnya terjangkau dan operasional per bulannya jauh lebih murah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian reduksi gas emisi SO₂ dari sumber emisi MFO dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut :

- Pilot project reaktor plasma jenis dielektrik barier discharge mampu mereduksi emisi gas SO₂ sampai 47 %. Gas SO₂ mengalami eksitasi menjadi ion -ion yang lebih ramah lingkungan seperti Oksigen. Unsur -unsur dan gugus gugus ikatan yang berbentuk padatan seperti sulfur, carbon dan nitrogen akan terdeposit didalam media elektroda.
- Pada proses ionisasi, eksitasi plasma ini tidak hanya gas emisi SO₂ saja yang dapat direduksi, tetapi semua gas emisi seperti CO, CO₂, N₂, dan gas lainnya.
- Hasil ionisasi gas - gas emisi tersebut membentuk gas Oksigen. Potensi timbulnya Ozon sangat dimungkinkan tetapi konsentrasinya kecil sekali, karena konsentrasi oksigen keluar dari hasil pembakaran sekitar 9 -11%, kemudian tereksitasi dengan plasma menjadi unsur O yang reaktif, berikatan dengan unsur lain hasil ionisasi plasma, maupun gas emisi yang belum sempat bereaksi, atau akan terbentuk oksigen yang diharapkan dari proses ini.
- Pembangkit plasma di dalam reactor, dibutuhkan listrik 60 Watt x 8 channel, total daya listrik 480 watt, ini berarti pengendalian gas emisi dengan teknologi plasma tidak membutuhkan biaya tinggi, dengan objek riil cerobong industry dengan laju emisi 25.000 m³/jam.
- Perawatan reaktor plasma tidak membutuhkan biaya tinggi, cukup perawatan dan pembersihan unsur carbon yang terdeposit dipermukaan elektroda dengan cara disemprot dengan compressor.

- f. Reaktor plasma ini bisa digunakan untuk mereduksi gas – gas lain selain SO_2 , bahkan dapat pula mereduksi asap hitam dari cerobong. Pengoperasiannya mudah dan dapat digunakan berkali-kali.
- g. Dalam pengoperasiannya, reaktor plasma tidak membutuhkan blower yang berukuran dan kapasitas besar, karena pada saluran pembuangan (cerobong) laju alir gas emisi sudah cukup tinggi, dan plasma bisa bekerja pada kondisi tersebut tergantung dari *power* yang dibangkitkan.

Saran

1. Pada pemakaian reaktor plasma sebaiknya dilakukan dengan hati – hati, karena walaupun beban dan arusnya rendah tetapi dapat menghasilkan tegangan diatas 10 KV untuk tiap channel. Pada reaktor ini, plasma dapat dibangkitkan pada tegangan 30 KV.
2. Pada pengendalian gas emisi dengan menggunakan plasma, perlu memperhatikan permukaan elektroda. Jika elektroda / media sudah ada deposit carbon yang cukup tebal, maka harus segera dibersihkan agar proses disosiasi gas dapat berlangsung sempurna.
3. Sesungguhnya reaktor plasma non thermal ini mampu mereduksi emisi gas cerobong boiler di PT. Sidomuncul sampai dibawah baku mutu (untuk Bahan bakar minyak sebesar 700 mg/m^3), sampai 47%. Tetapi alat ini masih memiliki kelemahan yang masih harus disempurnakan, yaitu voltase yang dihasilkan masih tergolong rendah untuk ukuran cerobong dan debit yang mencapai rata-rata $25.000 \text{ m}^3/\text{jam}$ sehingga reaktor plasma tidak mampu menurunkan emisi diatas 47%. Selain itu, reaktor tegangan tinggi yang dipasang pada cerobong ukurannya kurang panjang sehingga waktu tinggal untuk memecah gas emisi sangat singkat sehingga banyak yang lolos. Penggunaan reaktor secara multi stage

lebih efisien dalam mereduksi emisi gas, karena gas yang lolos dari reaktor pertama akan ditangkap oleh reaktor kedua.

4. Perlu diobservasi lebih lanjut mengenai ketahanan dan kehandalan peralatan plasma ini baik pada komponen mekanik maupun komponen elektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Istadi. *Hybrid Catalytic- Plasma Reactor Development For Energy Conversion*, Departement Of Chemical Engineering, Diponegoro university, Semarang, Indonesia.
- Chen, J., dan Davidson, J.H. 2002. *Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions*, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 22, pp 199-224
- J.S. Chang, K. Urashima, YX. Tong, W.P. Liu, H.Y. Wei, F.M yang, X.J. liu, 2002, *Simultaneous Removal of NO_x and SO_2 from Coal Boiler Flue Gases by DC Corona Discharge Ammonia Radical Shower Systems: Pilot Plant Tests*, Journal of Electrostatics.
- Kado, S., Urasaki, K., Sekine, Y., Fujimoto, K., Nozaki, T., Okazaki, K. *Direct Conversion of Methane to Acetylene or Syngas at Room Temperature Using Non-Equilibrium Pulsed Discharge*. Fuel 2003;82:1377-1385.
- Korzekwa, R, 1998, *Experimental Result Comparing Pulsed Corona and Dielectric Barrier Discharge for Pollution Control*, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.
- Kuraica, M, 1996, *Application Of Coaxial Dielectric Barrier Discharge for Portable and Waste Water Treatment*, Faculty of Physics, Serbia and Montenegro.

- Li, Y., Liu, C.J., Eliasson, B., Wang, Y.
Synthesis of Oxygenates and Higher Hydrocarbons Directly from Methane and Carbon Dioxide Using Dielectric-Barrier Discharges: Product Distribution. *Energy Fuels* 2002;16: 864-870
- Nasser, E., 1971, *Fundamental of Gaseous Ionization and Plasma Electronics*, Wiley-Interscience, New York
- Rao, N.N., Silaban, P., 2001, *Elemen-elemen Elektromagnetika Teknik Jilid 1*, Edisikelima, Erlangga, Jakarta
- Sienko, M.J., Plane, R.A., 1979, *Chemistry: Principles and Applications*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Spyrout. N, 1994, *New result on a Point to Plane DC Plasma Reactor in Low Pressure Dried Air*, *Journal Phys. D : Appl.Phys.*, Vol. 27, pp 2329-2339.
- Sumariyah; Agus Triyanto ; Muhammad Nur, *Rancang Bangun Sistem Pembangkit Plasma Lucutan Pijar Korona dengan Sistem Pengapian Mobil Termodifikasi untuk Pereduksian COX*, Jurusan Fisika-Undip.